

①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 05 303 A 1**

⑤① Int. Cl. 6:
B 29 C 71/04
B 29 C 39/42
B 29 C 45/03

②① Aktenzeichen: 197 05 303.3
②② Anmeldetag: 13. 2. 97
④③ Offenlegungstag: 22. 1. 98

EINGEGANGEN
17. DEZ. 1999
KINKELIN

Frist:

Not:

DE 197 05 303 A 1

⑥⑥ Innere Priorität:
196 05 746.9 16.02.96

⑦① Anmelder:
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, 76133
Karlsruhe, DE

⑦② Erfinder:
Haußelt, Jürgen, Prof. Dr., 76726 Germersheim, DE;
Ruprecht, Robert, Dr., 75045 Walzbachtal, DE;
Hanemann, Thomas, Dr., 76297 Stutensee, DE;
Zimmermann-Chopin, Rainer, Dr., 76287
Rheinstetten, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Herstellung von Klein- und Mikroteilen

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Klein- und Mikroteilen aus einer Formmasse mit Hilfe von Formwerkzeugen.
Aufgabe der Erfindung ist es, die Zykluszeiten bei der Abformung von Mikrostrukturen drastisch zu reduzieren.
Gelöst wird diese Aufgabe dadurch, daß eine Formmasse verwendet wird, welche mindestens eine durch kurzwelliges Licht härtbare Komponente enthält und daß nach der Formgebung der Formmasse die Aushärtung durch die Bestrahlung mit kurzwelligem Licht im Formwerkzeug erfolgt.

DE 197 05 303 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Klein- und Mikroteilen nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Das Reaktionsgießen von Mehrkomponenten-Gießharzen (reaction injection molding), das Spritzgießen (injection molding) und das Warmprägen (hot embossing) sind Formgebungsverfahren, die seit Jahrzehnten zur Herstellung von Formteilen mit Dimensionen von Millimetern bis einigen Metern eingesetzt werden¹). Sie werden zur Herstellung von Formteilen aus reinen Kunststoffen, aus gefärbten Kunststoffen, aus Kunststoffmischungen (Polymer-Blends) und aus mit anorganischen bzw. organischen Feststoffen gefüllten Kunststoffen verwendet.

In den letzten Jahren hat die Abformung von Bauteilen auch in der Mikrosystemtechnik Eingang gefunden²). Verfahren der Mikrotechnik zur Herstellung von mikrostrukturierten Formeinsätzen sind das LIGA-Verfahren (Lithographie, Galvanoformung und Abformung), feinst- bzw. mikromechanische Strukturierung mit Profildiamanten³), Laserstrukturierungsverfahren (Laserlithographie⁴) und Materialablation), aber auch Ätztechnik und Lithographie mit anschließender Galvanoformung (LIGA bzw. Laser-LIGA)⁵). Hierbei werden mit den Verfahren des Reaktionsgießens, des Spritzgießens, oder des Warmprägens Mikrostrukturen aus unterschiedlichen Kunststoffen erzeugt, die laterale Dimensionen bis zu wenigen Mikrometern, Oberflächenstrukturen im Mikrometerbereich und Strukturhöhen von bis zu einigen hundert Mikrometern aufweisen.

Zur Abformung solcher Mikrostrukturen ist ein erheblicher technischer Aufwand erforderlich. Insbesondere muß gewährleistet werden, daß die Werkzeuge und mikrostrukturierten Formeinsätze vollständig vom Kunststoff ausgefüllt werden und daß beim Befüllen keine Beschädigung der Formeinsätze stattfindet. Dies setzt Verfahrensparameter voraus, bei denen die Kunststoffe eine niedrige Viskosität aufweisen und damit leicht fließen. Diese läßt sich durch die Überführung des Kunststoffs in seine Schmelze durch eine Erwärmung über den Schmelzpunkt bzw. Glasübergangspunkt erreichen. Um niedrige Viskositäten im Werkzeug zu erzielen, müssen beim Befüllen der Werkzeuge und mikrostrukturierten Formeinsätze mit Kunststoff die Werkzeugtemperaturen gegenüber dem konventionellen Spritzguß elektrisch oder mittels eines Temperiermediums ebenfalls auf eine Temperatur erwärmt werden, welche oberhalb des Schmelz- bzw. Glasübergangspunktes liegt.

Die hohen Werkzeugtemperaturen werden zur vollständigen Formfüllung während des eigentlichen Einspritzens beim Spritzgießen bzw. Eindringen des Stempels in die Formmasse beim Warmprägen bis zu der sogenannten Nachdruckphase beibehalten. Im Anschluß daran folgt die Abkühlphase, in der die Formmasse unter einem variablen Nachdruck steht, um die Formmasseschwindung während des Abkühlens zu kompensieren. Erst wenn die Werkzeug- und damit die resultierende Kunststofftemperatur deutlich unter dem Erstarrungspunkt (Glasübergangsbzw. Kristallisationspunkt) liegt, kann die Mikrostruktur aus dem Werkzeug entformt werden. Der Kühlvorgang wird wiederum durch ein Temperiermedium bestimmt. Aufgrund der hohen Wärmekapazität der Werkzeuge liegen die Abkühlzeiten bis zum Unterschreiten der Erstarrungstemperatur der Formmassen im Bereich mehrerer Minuten

bis zu einer Stunde. Die Zeit für das anschließende, erneute Aufheizen (Beginn des nächsten Zyklus) des Werkzeuges bis auf eine Temperatur, bei der die nächste Formfüllung erfolgen kann, liegt in der gleichen Größenordnung. Dies bedeutet, daß sich beim Spritzgießen und Warmumformen von Mikroteilen Zykluszeiten von vielen Minuten bis Stunden ergeben, im Gegensatz zum Spritzgießen, Warmumformen, oder Prägen konventioneller Teile, für die Zykluszeiten von wenigen Sekunden üblich sind.

In einem anderen Verfahren kann man einen Kunststoff in seiner Monomerkomponente lösen und diese Reaktionsharze nach Zugabe einer radikalischen organischen Komponente (Initiator) nach der Formgebung durch Erwärmung aushärten. Reaktionsgießharze von niedriger Viskosität weisen einen hohen Monomeranteil auf, der durch chemische Reaktion zu einem Polymer mit relativ hohem mittlerem Molekulargewicht aushärten soll, um eine für die Entformung von Mikrostrukturen ausreichende Festigkeit einzustellen. Diese Reaktion beansprucht lange Reaktionszeiten, die ihrerseits lange Werkzeugbelegzeiten verursachen (viele Minuten bis einige Stunden).

Im Gegensatz dazu läßt sich ein Kunststoff/Monomer-Gemisch nach Zugabe eines Photoinitiators bei Raumtemperatur aushärten^{6, 7}). Heiz- und Kühschritte sind nicht notwendig. Ein Beispiel für eine technische Anwendung der photoinitierten Aushärtung ist die Beschichtung von unstrukturierten Scheinwerferreflektorkörpern mit einem Gießharz, wobei das Licht durch eine gewölbte Glasplatte, welche als Form dient, auf das zu härtende Material fällt⁸).

In der Mikroelektronik und in der Mikrotechnik sind strahlungsempfindliche Kunststoffe bekannt, welche bei lithographischen Verfahren als Photoresist eingesetzt werden und nach Bestrahlung ihre Löslichkeit ändern. Bei der Lithographie zur Herstellung von Mikrostrukturen sind prinzipiell drei Verfahrensschritte notwendig, nämlich das Belacken, das Belichten und das Entwickeln, sowie zusätzlich häufig ein nachgeschalteter Backschritt im Temperofen. Diese Prozeßfolge ist aufwendig und bezüglich der Zykluszeit dem Abformprozeß von Mikrostrukturen nach heutigem Stand meist nicht überlegen. Außerdem lassen sich mit dieser Lithographietechnik in einem geschilderten Bearbeitungsgang nur einstufige Mikrostrukturen mit nur nahezu planparallelen Strukturwänden herstellen. Die Höhe der Negativ-Resist-Struktur ist derzeit auf ca. 20 µm beschränkt. Im Gegensatz dazu können bei der Kunststoffabformung je nach Gestaltung des Werkzeuges echt dreidimensionale Mikrostrukturen mit Strukturhöhen bis in den Millimeterbereich abgeformt werden.

Neuerdings werden auch dünne Orientierungsschichten für elektrooptische Schichten auf Flüssigkristallbasis durch Bestrahlung mit polarisiertem Licht gezielt eingestellt⁹). Mit Hilfe von intensivem UV-Licht lassen sich mittels Laser-Bestrahlung auch Oberflächen von fertigen Kunststoffhalbleitern modifizieren¹⁰).

Zur Zeit ist weiterhin ein Verfahren zur Herstellung von Prototypen für Bauteile konventioneller Größe, das sogenannte Stereo-Lithographie-Verfahren bekannt, bei dem durch Laser-Strahlung ein Kunststoffbauteil schichtweise polymerisierend aus einer Monomerlösung aufgebaut wird. Pro Laserschreibvorgang wird eine ca. 0,2 mm dicke Schicht polymerisiert; es lassen sich minimale laterale Strukturen von unter 1 mm erzielen. Die Prozeßzeiten des Stereo-Lithographie-Verfahrens steigen mit der Komplexität des Bauteils und können bis

zu mehreren Stunden betragen.

Weitere Beispiele zum Stand der Technik wären die Dentaltechnik und die lichterhärtenden Kunststoffe.

Photohärtbare Reaktionsharze finden i. a. Verwendung in der Klebtechnik, beispielsweise in der Fixierung von Glasfasern oder Substratdeckeln auf abgeformten Kunststoff- oder Glassubstraten^{11, 12}, in der Herstellung von optischen Wellenleitern¹³ oder in der Herstellung von Kunststofflinsen auf einem Borosilikatglassubstrat¹⁴). Die Abformung durch einen Walzprozeß einer Fresnelstruktur mit Hilfe eines oligomeren Reaktionsharzes und gleichzeitiger Verklebung auf einem Kunststoffsubstrat, durch welches auch die Belichtung erfolgt, ist von Lu et al.¹⁵) beschrieben. Ungewöhnlich ist die Verwendung von trockenen photohärtbaren Schichten zur Fixierung holographischer Informationen auf einem vorgefertigten Substrat in einem, dem Rollendruck ähnlichen, Prozeß¹⁶).

Aufgabe der Erfindung ist es, bei einem Verfahren der eingangs genannten Art die Zykluszeit und den Energieverbrauch zu verringern und die Materialpalette über die kommerziell erhältlichen Materialien hinaus zu erweitern.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren können Materialkomponenten verschiedener Art miteinander gemischt werden. Diese Materialien sind nicht nur Bestandteile, die man üblicherweise aus der Kunststofftechnik kennt. Darüber hinaus können auch Metalle, Keramiken, Gläser, Faserwerkstoffe und Farbstoffe als Füllstoffe den Formmassen zugemischt werden.

Beim klassischen Spritzgießen oder Prägen ist es notwendig das Formwerkzeug zu heizen, um die hochviskosen Kunststoffmassen in die Formnester, insbesondere der mikrostrukturierten Formeinsätze, füllen zu können. Nach der Formfüllung wird das Werkzeug gekühlt, wobei die Formmasse erstarrt, um eine ausreichende Festigkeit für das Entformen aufzuweisen. Für diesen thermischen Zyklus des Formwerkzeugs ist Heizungs- und Kühlungsenergie notwendig, wobei das Heizen und Kühlen mehr als 80% der Zykluszeit beanspruchen. Im Gegensatz dazu ist beim erfindungsgemäßen Verfahren kein Heizen des Formwerkzeugs und kein Temperaturzyklus im Formwerkzeug notwendig. Damit ist keine Heizenergie, kaum Kühlenergie notwendig und die Zykluszeit ist gegenüber den klassischen Abformverfahren deutlich reduziert.

Gelöst wird diese Aufgabe durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1.

Die Unteransprüche beschreiben vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens.

Licht- bzw. photohärtbare Reaktionsharze, d. h. Formmassen für das Verfahren der eingangs genannten Art, weisen während der Formgebung gegenüber Thermoplasten eine niedrige Viskosität auf. Nach der Formgebung und dem anschließenden Aushärten erhöht sich diese um mehrere Größenordnungen. Die Abformmaschinen, Werkzeuge und Formeinsätze sind so ausgestattet, daß sichtbares und/oder UV-Licht bis an die evakuierten Formnester dringt. Die Formeinsätze werden durch unterschiedliche Mikrostrukturierungsverfahren hergestellt. Diese Mikrostrukturierungsverfahren können beispielsweise sein: mechanische Bearbeitung durch Mikrowerkzeuge (Fräser, Bohrer, Profilwerkzeuge, u. a.), LIGA-Verfahren, Laserstrukturierung, Silizium- oder Glasstrukturierung durch trocken- oder naßchemisches Ätzen, auch mit ggf. anschließender Galvanoformung zu einem Formeinsatz. Um eine vollständige Formfüllung der Formeinsätze mit photo-

härtem Reaktionsharz zu erzielen, muß das Vakuum im Formwerkzeug zwischen 5×10^{-1} mbar und 1×10^{-4} mbar, optimal 10^{-2} mbar, betragen. Dieses optimale Vakuum kann erreicht werden durch eine genaue Steuerung über die Vakuumanlage oder durch ein Fluten des Formnestes mit Inertgas, beispielsweise Stickstoff, bis zu einem Druck von optimal 10^{-2} mbar. Zum Evakuieren des Werkzeuges können verschiedene Techniken verwendet werden, beispielsweise Kernzüge, Bohrungen in der Werkzeugtrennebene oder Sonderausführungen der Auswerferstifte. Allen gemeinsam ist, das nach dem Evakuieren und vor der Formfüllung der Formnestbereich so von der Vakuumeinheit getrennt wird, daß keine Formmasse aus dem Formnest in Richtung Vakuumpumpe fließen kann. Nach der vollständigen Formfüllung erfolgt zur Induktion der Aushärtung der Formmasse die Belichtung. Die Heranführung des Lichtes an die Formnester kann über unterschiedliche Konstruktionsarten des Werkzeuges erfolgen. Zu nennen sind die Verwendung einer im Werkzeug integrierter Lichtquelle, und/oder eines oder mehrerer transparenter Werkzeugteile (anorganischen Gläser und/oder Kunststoffe, beispielsweise Lichtwellenleiter, Spiegeln, Linsen Strahlteilern u.ä.), welche keine feste oder funktionelle Verbindung mit der Formmasse eingehen. Nach der kompletten Formfüllung der Formnester des Werkzeuges mit der photohärtbaren Formmasse (bestehend aus zum Einen Monomeren und/oder Oligomeren und/oder Polymeren der Acrylsäure und/oder Methacrylsäure und/oder Vinylverbindungen und/oder Epoxidverbindungen und deren Derivate und zum Anderen aus einem Photoinitiatorsystem und/oder einem Weichmachersystem und/oder intrinsischen Trennhilfen) erfolgt die strahleninduzierte Aushärtung unter Aufrechterhaltung eines Formmassennachdrucks zur Reaktionsschwundkompensation. Ein Nachdruck wird bereits durch die Druckdifferenz zwischen dem evakuierten Werkzeugbereich und dem Luftdruck auf die Werkzeugplatten, auf die Spritzeinheit und damit auf die Formmasse wirksam. Der Nachdruck, der durch die Spritzeinheit aufgebracht und durch ein Reservoir an Formmasse in die Formnester übertragen wird, sollte jedoch je nach Viskosität der Formmasse, d. h. der Reaktionsgießharzes zwischen 0,1 bar und 2500 bar, optimal beim Spritzgießen bei 100 bis 1000 bar, beim Prägen bei 5 bis 200 bar liegen. Nach der Aushärtung kann das feste Formteil mittels im Werkzeug integrierter Entformungshilfen entnommen werden. Dem Reaktionsharz können weitere anorganische und organische Bestandteile in flüssiger oder fester Form (Feinpulver aus Oxid-, und/oder Nichtoxidkeramiken und/oder Metall und/oder Gläser und/oder Ruß und/oder Graphit und/oder sonstigen Materialien (Kunststoffe, Farbstoffe)) zugegeben werden, wenn diese die Formfüllung und die strahlungsinduzierte Aushärtung nicht verhindern.

Betrachtet man die Maschinen, die für das Verfahren der eingangs genannten Art notwendig sind, so sind diese den Maschinen des klassischen Spritzgießen oder Prägen ähnlich.

Beim Spritzgießen wird in einer meist horizontal angeordneten Spritzeinheit die Formmasse konditioniert. In dieser Spritzeinheit wird die Formmasse gemischt, zum Werkzeug transportiert, der Einspritzdruck und der Nachdruck aufgebracht. Das zwei- und mehrteilige Werkzeug weist meist senkrecht zur Spritzeinheit eine Trennebene auf. Durch diese wird das Werkzeug zur Entformung des gespritzten Teils geöffnet, wobei in allgemeinen im Werkzeug integrierte Auswerfer die Ent-

formung vornehmen, die von der Spritzgießmaschine betätigt werden. Beim Spritzgießen wird das Werkzeug vor dem Einspritzen der Formmasse zunächst evakuiert und vollständig geschlossen, bis sich die Werkzeughälften an der Werkzeuggrenzebene berühren. Danach erfolgt das Einspritzen der Formmasse in das evakuierte Werkzeug bis zu vollständiger Formfüllung. Während dem der variabel einstellbare Nachdruck durch die Spritzeinheit aufgebracht wird erfolgt durch Einkoppeln von kurzwelligem Licht die vollständige Aushärtung der Formmasse. Danach kann das Werkzeug belüftet werden und die Entformung erfolgt.

Beim Prägen wird in das evakuierte oder mit Inertgas teilweise geflutete Werkzeug mit meist horizontal liegender Trennebene die Formmasse als Massepolster meist von oben eingespritzt. Häufig werden die Werkzeughälften erst danach vollständig zusammengefahren bzw. der Formeinsatz in Richtung der gegenüberliegenden Werkzeugplatte so verfahren, daß sich erst dadurch der eigentliche Formnestbereich bildet. Durch diese Verkleinerung der Werkzeuginnenvolumens hin zum eigentlichen Formnestvolumen wird auf die Formmasse Druck ausgeübt und es erfolgt die vollständige Formfüllung der Kavitäten in den Formeinsätzen. Diesem Druck muß die Spritzeinheit während der Formfüllung gegenhalten oder durch eine Verschußdüse vom Formnestbereich getrennt werden. Vorteilhaft ist die Schwundkompensation durch den Nachdruck aufgebracht durch die Spritzeinheit. Im Gegensatz dazu muß im Falle der Nutzung einer Verschußdüse, die auch während der Nachdruckphase geschlossen bleibt, der Nachdruck von den Werkzeugplatten ggf. incl. Formeinsatz aufgebracht werden, um den Reaktionsschwind der Formmasse während der Belichtung zu kompensieren. Danach kann das Werkzeug belüftet werden und die Entformung erfolgt.

Die Erfindung wird im folgenden anhand einiger Ausführungsbeispiele und mit Hilfe der Figur näher erläutert:

Beispiel 1

Für Abformversuche mit einem strahlungshärtenden Kunststoff wurde ein relativ einfache Mikrostruktur ausgewählt. Der Formeinsatz für diese Mikrostruktur weist ca. 10000 quadratische Löcher von 150 µm Kantenlänge im Abstand von 150 µm und eine Formnesttiefe von 550 µm auf. Damit wird ein Array aus ca. 10000 quadratischen Säulen mit einer Kantenlänge von 150 µm und einer Periode von 300 µm in einer Höhe von 550 µm abgeformt. Wird das Säulenarray in Polymethylmethacrylat (PMMA) abgeformt, ergibt sich nach dem alten Stand der Technik eine Zykluszeit von derzeit ca. 8–10 Minuten. PMMA weist mit seiner Glasübergangstemperatur von ca. 110°C eine relativ geringe Erstarrungstemperatur auf. Bei Kunststoffen mit höherer Glasübergangstemperatur können sich u. U. noch höhere Zykluszeiten einstellen.

Im Gegensatz dazu wurde diese Mikrostruktur in einem strahlungshärtenden Kunststoff abgeformt. Es wurde dabei ein Kunststoff auf Methacrylat-Basis verwendet, dem ein Photoinitiatorsystem zugegeben wurde. Sofort nach der Formfüllung wurden die Mikrostrukturen vier Minuten mit Licht im Wellenlängenbereich von ca. 400 bis 500 nm bestrahlt und anschließend entformt. Durch diese neue Abformtechnik wurde zur Herstellung von Mikrostrukturen eine Reduzierung der Zykluszeit von üblicherweise ca. 10 Minuten auf unter

5 Minuten, d. h. im Mittel auf die Hälfte erreicht.

Beispiel 2

Eine PMMA-Form, die über den LIGA-Prozeß oder durch mikromechanische Fertigung strukturiert wurde, wird als Teil eines evakuierbaren Werkzeuges mit der strukturierten Seite nach oben in eine Prägevorrichtung gelegt. Zweckmäßigerweise ist die Prägevorrichtung so konstruiert, daß das PMMA-Werkzeug auf seiner Unterseite mechanisch abgestützt wird. Das Werkzeug wird danach mit einem Composite aus Kunststoffkomponenten Isopropyliden-bis (2-hydroxy-3-(4-phenoxy)propylmethacrylat) (4%), 3,6-Dioxaoctamethylendimethacrylat (5%), 7,7,9-Trimethyl-4,13-dioxo-3,14-dioxo-5,12-diazahexadecan-1,16-diolmethacrylat (10%) und einem Photoinitiator und den Füllstoffen SiO₂ (11%) und Bariumaluminiumborosilikat (70%) überschichtet. Danach wird ein Prägestempel auf das weiche Compositematerial gefahren. Der Druck wird auf einen der speziellen Mikrostruktur der PMMA-Form angemessenen Wert erhöht und solange gehalten, bis die Hohlräume der Mikrostruktur mit dem Compositematerial erfüllt sind. Danach wird der Druck auf den Nachdruck zurückgenommen und das Prägewerkzeug so gedreht, daß die PMMA-Seite als transparentes Teil des evakuierten Werkzeuges offenliegt. Die Aushärtung des Composites erfolgt hierauf durch einminütige Bestrahlung einer Halogenlampe mit Licht im Wellenlängenbereich von 400 bis 500 nm von unten durch das PMMA-Werkzeug hindurch. Danach kann das ausgehärtete Compositeharz zusammen mit dem PMMA-Werkzeug aus der Prägevorrichtung entnommen, das Werkzeug belüftet und das Composite vom PMMA-Werkzeug getrennt werden.

Beispiel 3

Ein Formeinsatz am Metall, der über den LIGA-Prozeß strukturiert wurde, wird mit der strukturierten Seite zur Trennebene gerichtet in die düsenseitige Werkzeughälfte eingebaut. Das Werkzeug wird geschlossen, kurz evakuiert und mit Stickstoff bis zu einem Druck von 5×10^{-1} mbar belüftet. In das Werkzeug wird danach ein niedrigviskoses Composite aus Bisphenol A-diglycidylmethacrylat (Bis-GMA) (20%), Urethandimethylacrylat (UDMA) (10%), dem Photoinitiatorsystem 2,4,6-Trimethylbenzoyldiphenyl-phosphinoxid (1%) und 2-Hydroxy-2-Methyl-1-phenyl-propanol-1-on (1%) und dem Füllstoff ZrO₂ (68%) eingespritzt. Danach wird die Aushärtung des Composites durch einminütige Bestrahlung mittels einer Blaulichtlampe mit einem Wellenlängenbereich von 400 bis 500 nm durch den transparenten Teil des Werkzeuges auf der Auswerferseite hindurch vorgenommen. Das ausgehärtete Compositeharz wird danach aus den Spritzgießwerkzeugen ausgeworfen.

Beispiel 4

Für weitere Abformversuche mit einem strahlungshärtenden Reaktionsharz wurde ein Testformeinsatz aus Metall mit mikromechanisch (Mikrofräsen) hergestellten einfachen Grabenstrukturen unterschiedlicher Aspektverhältnisse verwendet. Die feinste Grabenstruktur weist eine Breite von 0,5 mm und eine Formnesttiefe von 3,0 mm auf. Um eine Entformung zu gewährleisten, mußte bei der Fertigung der Grabenstrukturen auf eine besonders niedrige Oberflächenrauigkeit ($R_a < 250$ nm) geachtet werden. Der Formeinsatz befin-

det sich in einem Spritzgießwerkzeug mit evakuierbarem Werkzeugbereich, variabel einstellbarem Einspritz- und Nachdruck sowie einer integrierten mechanischen Entformungshilfe (Auswerferstifte).

Zwischen den Formnestern und der Werkzeugtrennebene befindet sich vor dem Formeinsatz ein Hohlraum mit einer maximalen Höhe von 7 mm, welcher später mit der ausgehärteten Formmasse ausgefüllt die mikrostrukturtragende Substratplatte darstellt.

Der Werkzeugbereich läßt sich über ein Kühl- bzw. Heizmedium temperieren. Eine Werkzeughälfte wurde aus hochtransparentem Glas gefertigt und verbleibt statisch im Versuchsaufbau. Nach dem Schließen des Werkzeugbereichs wird in die zweite, den Formeinsatz tragende Werkzeughälfte, ein strahlungshärtendes Reaktionsharz auf Methylmethacrylatbasis mit der Zusammensetzung 3 Gew.% Photoinitiator, 5 Gew.% Phthal säuredibutylester und 92 Gew.% Plexit 55^R unter Druck (5 bis 50 bar) aus einem Vorratsgefäß in den evakuierten Formeinsatz eingespritzt. Die Ausführung des lichtundurchlässigen Vorratsgefäßes erlaubt eine homogene Vermischung der einzelnen Reaktionsharzkomponenten sowie eine genaue Dosierung und Förderung des zu verwendeten Reaktionsharzes. Nach dem Füllvorgang wird durch die unstrukturierte Glasplatte mittels einer Hochdruck-Quecksilberdampflampe (Bestrahlungsin tensität bis 1400 mW/cm², Emissionsbereich 250–600 nm) das photohärtbare Composite bei Raumtemperatur unter Beibehaltung eines Formmassennachdrucks zur Kompensation der Reaktionsschwindung und damit einer vollständigen Formfüllung ausgehärtet. Nach dem Belichten wird das Formteil mittels Auswerferstifte entformt. Im Mittel ergeben sich Aushärtezeiten von 1 min/mm Formteilschichtdicke.

Beispiel 5

Für Abformversuche mit einem strahlungshärtendem, gefärbtem Kunststoff wurde ein Testformeinsatz verwendet, welcher eine einfache Plattenstruktur mit den Dimensionen 30 × 70 mm² enthält und eine Formnesttiefe von 3 mm aufweist. Als Versuchsaufbau wurde der in Beispiel 1 genannte verwendet. Nach dem Schließen des Werkzeuges wurde ein strahlungshärtendes Reaktionsharz auf Methylmethacrylatbasis mit der Zusammensetzung 3 Gew.-% Photoinitiator, 1,5 Gew.-% des Farbstoffes Disperse Red 1 und 95,5 Gew.-% Plexit 55^R unter Druck (2 kN) in den evakuierten Formeinsatz eingespritzt und anschließend mit der o.g. Bestrahlungseinheit unter Beibehaltung eines Formmassennachdrucks von 1,5 kN belichtet. Aufgrund der hohen Lichtabsorption des Farbstoffes im Emissionsbereich der Lampe sind die Härtezeiten stark verlängert. Nach dem Belichten wird das Formteil mittels Auswerferstifte entformt.

Eine Modifikation des in den Beispielen 4 und 5 beschriebenen Aufbaus betrifft die Heranführung des Lichts an den Formnestbereich. Eine noch einmal teilbare Werkzeughälfte erlaubt die Integration optischer Elemente wie Umlenkspiegel und Linsen, so daß Laserlicht geeigneter Wellenlänge (Excimer (248 nm, 308 nm), frequenzverdreifachter Nd-YAG (355 nm, etc.)) entweder als Freistrahle oder mittels Lichtwellenleiter, Umlenkung und anschließender Strahlteilung bzw. Aufweitung durch eine unstrukturierte (Quarz)-Glasplatte an den Formnestbereich herangeführt werden kann. Der eigentliche Abformvorgang ist analog zu den vorher genannten.

Kurze Beschreibung der Figur

Die Figur skizziert den in Beispiel 4 beschriebenen Versuchsaufbau unter Verwendung eines teilweise aus Glas bestehenden Werkzeugs.

Die einzelnen Komponenten der Formmasse werden in der Spritzeinheit 2 homogen vermischt. Nach dem vakuumdichten Schließen der beiden Werkzeughälften 3 und 4 wird der Formeinsatz 7 mit den mikrostrukturierten Formnestern (hier nicht dargestellt) evakuiert. Anschließend wird die Formmasse aus der Spritzeinheit 2 durch den Düsenkanal 5 der düsenseitigen Werkzeughälfte 4 in das Formnest des Formeinsatzes 7 eingespritzt. Nach der kompletten Formfüllung wird die Formmasse von der Lichtquelle 1 durch den lichtdurchlässigen Werkzeugbereich 3 belichtet; die Formmasse steht während dieser Zeit unter einem Nachdruck zur Reaktionsschwindungskompensation. Der Nachdruck wird durch die Spritzeinheit 2 aufgebaut. Nach der vollständigen Aushärtung werden die Werkzeughälften 3 und 4 auseinandergefahren und das Formteil mit Hilfe der in den Auswerferbohrungen 6 befindlichen Auswerferstifte aus dem Formeinsatz 7 entformt.

Literaturverzeichnis

1. H. Domininghaus, Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1992.
2. W. Menz und P. Bley, Mikrosystemtechnik für Ingenieure, Verlag Chemie, Weinheim, 1993.
3. W. Bier, A. Guber, G. Linder, T. Schaller und K. Schubert, Mechanische Mikrofertigung — Verfahren und Anwendung, in: Tagungsband des 1. Statuskoll. des Projektes Mikrosystemtechnik, KfK-Bericht 5238, 1993.
4. M. Popall, J. Kappel, J. Schulz und H. Wolter, ORMO-CER's, inorganic-organic polymer materials for applications in micro systems technology, in: Proc. Micro System Technologies 94, H. Reichl und A. Heuberger (Hrsg.), VDE-Verlag GmbH, Berlin, 271 ff, 1994.
5. A. Neyer et al., Low Cost Fabrication for Low Loss Passive Polymer Waveguides at 1300 nm and 1500 nm, ECOC'93, Montreux, Schweiz, WeP 7.4, 1993.
6. Q. Nuyken und R. Bussas, Polymerisation mit energiereicher und hochintensiver Strahlung, in: Houben-Weyl, Methoden der organischen Chemie, E20, Thieme-Verlag, Stuttgart, 74 ff, 1988.
7. C. H. Chang, A. Mar, A. Tiefenthaler und D. Wostratzky, Photoinitiators: Mechanisms and Applications, in: Handbook of Coatings Additives: Vol. 2, L. J. Calbo (Hrsg.), Marcel Dekker, Inc., New York, 1 ff, 1992.

8. DE 29 36 854 A1
9. DE 44 20 585 A1
10. DE 43 43 753 A1
11. A. US 5311604
12. EP 0608566 A2
13. JP 3114007
14. EP 0426441 A2
15. EP 0382420 A2
16. EP 0439050 A2

Bezugszeichenliste

- 1 Lichtquelle
- 2 Spritzeinheit
- 3 Lichtdurchlässiger Werkzeugteil
- 4 Düsenseitige Werkzeughälfte
- 5 Düsenkanal

6 Auswerferbohrungen
7 Formeinsatz

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Klein- und Mikroteilen aus einer Formmasse durch Spritzgießen oder Prägen, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:
 - a) Evakuieren des Formwerkzeugs mit integriertem Formeinsatz, 10
 - b) Einbringen der Formmasse in das Formwerkzeug unter Druck, wobei eine niedrig viskose Formmasse verwendet wird, welche mindestens eine durch kurzwelliges Licht härtbare Komponente enthält, 15
 - c) Belichten mit kurzwelligem Licht unter Aufrechterhaltung eines Nachdrucks bis zur vollständigen Aushärtung der Formmasse und
 - d) Öffnen des Werkzeugs und Entformen. 20
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch Evakuieren der Druck im Formwerkzeug zwischen 5×10^{-1} mbar und 1×10^{-4} mbar beträgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck im Formwerkzeug etwa 10^{-2} mbar beträgt. 25
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß Formwerkzeuge verwendet werden, bei denen mindestens ein Teil lichtdurchlässig ist. 30
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die lichtdurchlässigen Teile des Formwerkzeuges aus Werkstoffen der Gruppe der anorganischen Gläser und/oder der transparenten Kunststoffe bestehen und keine feste oder funktionelle Verbindung mit der Formmasse eingehen. 35
6. Verfahren einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle im Werkzeug integriert ist und/oder das Licht mittels optischer Fasern und/oder Spiegel, und/oder Prismen, und/oder Linsen und/oder Strahlteiler in das Formwerkzeug eingekoppelt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die verwendeten Formwerkzeuge bis max. 60°C temperiert werden. 45
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß den Formmassen vor der Formgebung ein Photoinitiatorsystem und/oder ein Weichmachersystem und/oder intrinsische Trennhilfen zugegeben werden. 50
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Formmasse verwendet wird, die Monomere und/oder Oligomere und/oder Polymere der Acrylsäure und/oder Methacrylsäure und/oder deren Derivate enthält. 55
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß eine Formmasse verwendet wird, die vinylgruppenhaltige und/oder epoxyhaltige Monomere und/oder Oligomere und/oder Polymere enthält. 60
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß den Formmassen vor der Formgebung Feinpulver aus Oxid-, und/oder Nichtoxidkeramiken und/oder Metall und/oder Gläsern und/oder Ruß und/oder Graphit und/oder sonstigen Materialien (Kunststoffe, Farbstoffe) zu-

gegeben werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das mikrostrukturierte Formwerkzeug nach dem LIGA-Verfahren hergestellt wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

